

VŠB- Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

**Konstrukční návrh drtiče kostí pro domácí použití**  
**Engineering Design of Bone Crusher for Home Usage**

Student :

Lukáš Polášek

Vedoucí bakalářské práce :

Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Ostrava 2013

## Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Polášek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení  
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení  
Téma: **Konstrukční návrh drtiče kostí pro domácí použití**  
**Engineering Design of Bone Crusher for Home Usage**

### Zásady pro vypracování:

Pro účely domácího použití proveďte konstrukční návrh elektrického drtiče předem nadělených kostí. Frakce drtě musí odpovídat požadavku na bezpečné zkrmování a skladnost. Zpracujte rešerši stávajícího stavu a používaných řešení v průmyslové oblasti. Na základě pokusného měření nadefinujte okrajové podmínky pro vstupní frakci. Navrhněte variantní řešení a proveďte konstrukční návrh vybrané varianty. Kontrolními výpočty ověřte správnost návrhu. Zpracujte výkresovou dokumentaci (upřesní vedoucí práce).

### Seznam doporučené odborné literatury:

KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1290-8  
KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1860-3  
DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů. Návrh. Výpočet. Konstrukce*. Montanex a.s. Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3  
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočet a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1  
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady ČaMS Spoje*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8  
LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 1. vydání. Úvaly: Albra-pedagogické nakladatelství, 2003, ISBN 80-86490-74-2

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012  
Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Polášek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Kopřivnice-Mniší 165,  
742 21, Kopřivnice.

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Tomáši Kubínovi, Ph.D. za poskytnutí odborných rad, věcné připomínky, ochotu a vstřícný přístup během zpracování této práce.

## **Anotace bakalářské práce**

POLÁŠEK L., *Konstrukční návrh drtiče kostí pro domácí použití: bakalářská práce*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 53s. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem drtiče kostí pro domácí použití. Cílem práce je navrhnout drtič kostí malých rozměrů, který je finančně dostupný a mohou ho využít drobní chovatelé k drcení kostí pro své domácí mazlíčky. V úvodu je popsáno k čemu drtiče slouží a v jakých průmyslových odvětvích se drtiče používají. První část práce obsahuje úvod do problematiky drtičů, zařízení dostupná na trhu a testování tvrdosti kostí. Dále pak práce obsahuje popis vlastní konstrukce drtiče kostí se základními kontrolními výpočty.

## **Annotation of Bachelor Thesis**

POLÁŠEK L., *Engineering Design of Bone Crusher for Home Usage: Bachelor thesis*, Ostrava: VŠB – Technical University Of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2013, 53p. Thesis head: Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

The bachelor work deals with the constructional design of a bone crusher. The aim of this work is to design a small size bone crusher which is financially available and which may be used by retail breeders to crush the bones for their pets. The introduction of the work describes the purpose of crushers and industrial fields they are used in. The first part of the work deals with a crusher search, units available on the market and bone hardness testing. Further the work writes on the construction of a bone crusher and basic calculations for construction.

## **Obsah**

<b>Seznam použitých symbolů a zkratk.....</b>	<b>8</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Úvod do problematiky drtičů .....</b>	<b>12</b>
1.1. Základní rozdělení drtičů .....	12
1.2. Výrobci drtičů .....	17
<b>2. Zkouška tvrdosti kosti.....</b>	<b>22</b>
<b>3. Vlastní návrh drtícího stroje .....</b>	<b>27</b>
<b>4. Kontrolní výpočty .....</b>	<b>36</b>
4.1. Výpočet střížné síly.....	36
4.2. Výpočet řemenového klínového převodu .....	38
4.3. Kontrolní výpočet spojení hřídel – náboj.....	43
4.4. Kontrola hřídele .....	45
4.5. Výpočet ložiska.....	47
<b>5. Závěr .....</b>	<b>49</b>
<b>Seznam použitých zdrojů a literatury .....</b>	<b>50</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>50</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>52</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>52</b>

## **Seznam použitých symbolů a zkratek**

$A$	osová vzdálenost	[mm]
$A_{MAX}$	maximální osová vzdálenost	[mm]
$A_{MIN}$	minimální osová vzdálenost	[mm]
$A'$	předběžná osová vzdálenost	[mm]
$B$	šířka ložiska	[mm]
$C$	dynamická únosnost ložiska	[kN]
$C_0$	statická únosnost ložiska	[kN]
$C_K$	součinitel počtu řemenů	[ - ]
$C_L$	součinitel vlivu délky řemene	[ - ]
$C_P$	součinitel dynamičnosti a pracovního režimu	[ - ]
$C_\alpha$	součinitel vlivu úhlu opásání	[ - ]
$D_1$	průměr řemenice	[mm]
$D_2$	průměr řemenice	[mm]
$D_r$	průměr rotoru drtiče	[mm]
$D_{r1}$	průměr rotoru drtiče Retsch SM100	[mm]
$D_L$	velký průměr ložiska	[mm]
$F$	přenášená obvodová síla	[N]
$F_0$	potřebné předpětí řemene	[N]
$F_1$	zatěžující síla hřídele	[N]
$F_2$	síla působící na bok těsného pera	[N]
$F_R$	radiální síla	[N]
$F_{stř}$	střižná síla drtiče	[N]
$F_{střR}$	střižná síla drtiče Retsch SM 100	[N]
$K$	celkový počet řemenů	[ - ]



$L_{10h}$	základní trvanlivost ložiska	[hod]
$L_{10M}$	modifikovaná trvanlivost ložiska	[hod]
$L_p$	normalizovaná délka řemene	[mm]
$L_p'$	vypočtená délka řemene	[mm]
$M_K$	krouticí moment	[N·m]
$M_{K1}$	krouticí moment na rotoru drtiče Retsch SM 100	[N·m]
$M_{K2}$	krouticí moment rotoru	[N·m]
$M_O$	ohybový moment	[N·m]
$M_{OMAX}$	maximální ohybový moment	[N·m]
$M_{RED}$	redukováný moment	[N·m]
$P$	dynamické ekvivalentní zatížení ložiska	[N]
$P_1$	výkon elektromotoru drtiče Retsch SM 100	[W]
$P_2$	výkon elektromotoru drtiče	[W]
$P_V$	výpočtový výkon	[W]
$P_{id}$	výkon přenášený jedním řemenem	[W]
$P_{sk}$	skutečný přenositelný výkon 1 řemenem	[W]
$R_A$	reakce v podpoře A	[N]
$R_B$	reakce v podpoře B	[N]
$a_1$	součinitel spolehlivosti	[ - ]
$a_{23}$	součinitel zahrnující materiál, mazání, provozní podmínky	[ - ]
$b$	šířka těsného pera	[mm]
$d_1$	průměr hřídele drtícího mechanismu	[mm]
$d_2$	malý průměr hřídele drtícího mechanismu	[mm]
$d'_h$	výpočtový průměr hřídele	[mm]
$d_L$	malý průměr ložiska	[mm]

$f$	součinitel vláknového tření	[ - ]
$f_0$	součinitel suchého smykového tření	[ - ]
$f_k$	součinitel tření v klínové drážce	[ - ]
$h$	výška těsného pera	[mm]
$i$	převodový poměr	[ - ]
$i_{SK}$	skutečný převodový poměr	[ - ]
$k$	bezpečnosti proti prokluzu řemene	[ - ]
$l$	délka těsného pera	[mm]
$l'$	přímá část boku pera	[mm]
$n_1$	výstupní otáčky drtícího mechanismu	[ot/min]
$n_R$	otáčky drtiče Retsch Sm 100	[ot/min]
$p_{D2}$	dovolený měrný tlak	[MPa]
$s$	provozní skluz	[ - ]
$t$	hloubka drážky pro pero v hřídeli	[mm]
$t_1$	hloubka drážky pro pero v náboji	[mm]
$v_1$	obvodová rychlost hnací řemenice	[m/s]
$\alpha$	úhel opásání řemenice v obloukové míře	[°]
$\alpha_f$	úhel drážky řemenice	[°]
$\Delta i$	tolerance převodového poměru	[%]
$\sigma$	napětí v ohybu	[MPa]
$\sigma_D$	dovolené napětí v ohybu	[MPa]
$\tau_D$	dovolené napětí na krut	[MPa]
$\eta_m$	účinnost elektromotoru	[%]
$\eta_{mR}$	účinnost elektromotoru Retsch SM 100	[%]
$\eta_{mR}$	účinnost klínového převodu	[%]

## **Úvod**

Některé suroviny je nutno dále zpracovat na malé částčky tak, aby mohly být využívány v dalších odvětvích. V dřevozpracujícím průmyslu se využívají různé stroje ke zpracování dřevěného odpadu např. pomocí štěpkovačů. Při drcení vzniká odpad tzv. dřevní štěpka, kterou pak můžeme využít pro získání tepelné energie například z briket vzniklých lisováním. Obilí ve formě zrna a kosti jsou hůř stravitelná pro zvířata. Proto se v zemědělství používají drtiče a šrotovníky. Pomocí těchto drtičů a šrotovníků se poté vyrábí krmné směsi. V chemickém průmyslu tyto stroje využíváme k drcení plastů, pryže, pryskyřice, rostlinných minerálů atd., které můžeme využít k dalšímu zpracování.

Cílem mé práce je navrhnout domácí drtič kostí malých rozměrů, který je finančně dostupný a mohou ho využít drobní chovatelé k drcení kostí pro své domácí mazlíčky. Při zpracování kostí drcením vzniká rozmělněná krmná směs. Takto zpracované kosti jsou lépe využitelné ke krmení a navíc jsou lépe skladovatelné, nezabírají tolik místa. Z hlediska bezpečnosti by měl být drtič vybaven zakrytváním, polohovými spínači a tlačítkem nouzového zastavení tak, aby při havárii stroje nedošlo ke zranění obsluhy. Pracovní prostor drtiče musí být snadno rozebratelný, abychom drtící mechanismus jednoduše vyčistili.

## **1. Úvod do problematiky drtičů**

Drtiče jsou zařízení sloužící k rozmělnění materiálu na požadovanou hrubost. Materiál je drcen pomocí mechanismu drtiče. Nejdůležitějšími součástmi jsou pohánecí ústrojí a mechanismus drtiče.

### **1.1. Základní rozdělení drtičů**

Primárně lze kategorizovat drtiče, vzhledem k jejich uplatnění v průmyslu, podle tří základních průmyslových oblastí:

#### **➤ Zemědělský průmysl**

V zemědělství se drtiče používají především k drcení obilí, chleba, kostí, sena a dalších surovin po výrobu krmných směsí pro zvířata. K drcení se používají různé typy drtičů a šrotovníků. Nejpoužívanější mechanismus drtičů, které se používají v zemědělství jsou kladívkové šrotovníky.

#### **➤ Potravinářský průmysl**

V potravinářské výrobě vzniká množství různého odpadu. Jsou to odpady ze zpracování masa, slupky z ovoce a zeleniny a jiných potravin. Odpady z potravinářského průmyslu můžeme využít k výrobě druhotných surovin, zpracováním na krmiva, substráty, komposty a hnojiva.

#### **➤ Dřevozpracující průmysl**

Při práci v lese, sadech, parcích, ale také na zahradách, vzniká velké množství dřevních zbytků ve formě větví, odřezků, kůry a plevelných křovin. Tento odpad je objemný a špatně se s ním manipuluje. Drtiče a štěpkovače výrazně zmenšují objem zbytků a vytváří se zhomogenizovaná hmota vhodná jako základka kompostů, mulčovací materiál nebo štěpka pro topení. Drtiče se používají pro zpracování drobných větvíček do průměru 30 až 40 mm. Štěpkovače ke zpracování dřevních zbytků vytvářejících štěpky do různé velikosti. [5]

Samotný mechanismus drtiče není ovlivněn průmyslovou kategorií, ale pouze technologickými požadavky na výstupní produkt drcení. Obecně jsou nejčastější následující typy:

- Kladívkový šrotovník,
- Střížný mlýn,
- Ruční pákové drtiče,
- Frézovací,
- Hřídelové,
- Čelistové drtiče.

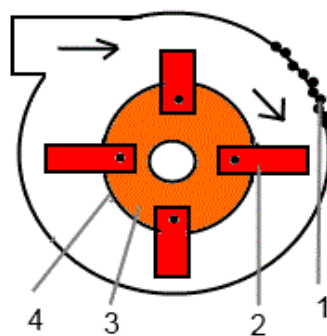
V následujícím textu budou jednotlivé typy mechanismů podrobněji představeny.

### Kladívkový šrotovník

Úderové šrotovníky jsou ve výrobnách krmných směsí velmi oblíbeny a jsou nejuniverzálnějším typem šrotovníků. Zpracovávají se suroviny s různými vlastnostmi. Tento typ šrotovníku je schopen při jednom průchodu vytvořit jednotný produkt vyžadovaný při výrobě krmných směsí. Jejich obsluha je snazší než u jiných typů a výměna kladívek a sít nevyžaduje odborné znalosti nezbytné pro křesání mlecích kamenů. Rovnoměrnost mletého produktu se reguluje velikostí otvorů ve výměnných sítích. Kromě všech zrnin mohou zpracovávat stébelnaté materiály do 20% (např. sušená vojtěška pro výrobu senné moučky), dokonce jimi můžeme zpracovávat zbytky potravin a kosti. [1]



*Obr. č. 1 – Kladívkový šrotovník [1]*



Obr. č. 2 – Schéma kladívkového šrotovníku [1]

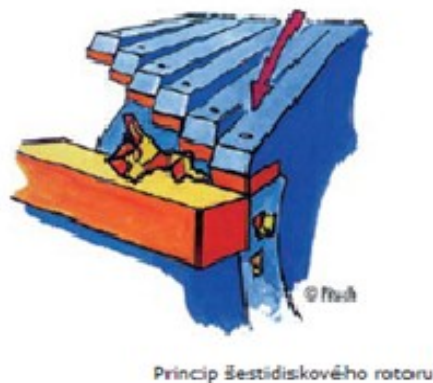
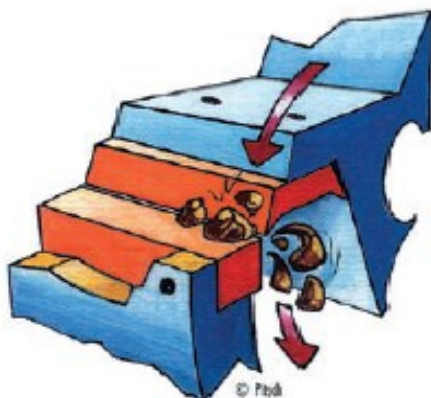
1 – rýhované vložky; 2 – kladívko; 3 – výměnné síto; 4 – kladívkový buben

Pro umístění kladívek je několik pravidel:

- pracovní prostor má být kladívky zasahován v celé šířce bubnu,
- kladívka následujících řad nesmí jít ve stopách řad předcházejících,
- působení kladívek na částice v axiálním směru má být minimální.

### Střížný mlýn

Principem mletí ve střížných mlýnech je stříhový efekt. Vstupní materiál se dostává do mlecího prostoru trychtýřem. Třínožový rotor v mlecím prostoru zachytí materiál a mezi noži rotoru a čtyřmi střížnými lištami usazenými v tělese mlýnu dochází ke stříhovému mletí. Doba zdržení materiálu v mlecím prostoru je velmi krátká. Jakmile je materiál jemnější než otvory v nasazeném spodním síti, propadá a sbírá se v zachytné nádobě. Zaručuje šetrné mletí bez prašnosti. Otáčky rotoru se pohybují v rozmezí  $1390 \text{ min}^{-1}$  –  $1690 \text{ min}^{-1}$ . [10]



Obr. č. 3 – Trojboký a šestidiskový rotor [10]

## Ruční pákové drtiče kostí

Pákový drtič pracuje na principu páky. Mezi čelisti pákového drtiče vložíme požadovanou kost k drcení a pomocí páky tahem dolů kost rozdrtíme. Tento typ drtiče se používá pro drcení menších kostí.



*Obr. č. 4 – Pákový drtič*

## S frézovacím válcem

Jde o typ mechanismu používaného především u zahradních štěpkovačů. Tento mechanismus se skládá ze dvou hlavních částí, a to opěrného kola nebo desky a válcové nebo turbínové frézy. Příchozí materiál je opřen o opěrnou část a fréza materiál postupně odfrézuje. Následně jej odhazuje z frézovacího prostoru. Tento mechanismus se většinou používá pro průměry materiálu do 50 mm. [7]



*Obr. č. 5 – Princip drtiče s frézovacím válcem [7]*

## Hřídelové

Dvouhřídelové drtiče stříhají a drtí materiál pomocí segmentů na hřídelích, které se pomalu otáčejí proti sobě. Výstupem z drtiče jsou proužky nebo kousky odpadu, jejichž velikost závisí na charakteru vstupního odpadu a na šíři segmentů. Drtiče jsou poháněny přes převodovky jedním nebo dvěma elektromotory, případně hydromotory. Dvouhřídelové drtiče jsou vhodné na drcení různých druhů odpadů, jako jsou plasty, karton, dřevo, laminát, pneumatiky, apod. Často jsou tyto stroje využívány také jako první stroj v různých linkách na zpracování odpadu - pro předdrcení odpadu před jeho drcením nebo mletím najemno. V případě potřeby mohou být drtiče vybaveny přítlačným zařízením, které, zajišťuje natlačení objemného odpadu mezi drtící segmenty. [9]



*Obr. č. 6 – Dvouhřídelový drtič [9]*

## Čelistové drtiče

Jsou tvořeny dvěma čelistmi, jedna pohyblivá a druhá pevná. Jedná se kyvadlo s pohyblivou čelistí, poháněné výstředníkovou hřídelí. Drcení probíhá v klínovém prostoru mezi pevnou drtící čelistí a čelistí pohyblivou. Materiál je drcen elipsovitým pohybem a poté padá vlivem gravitace. Jakmile je velikost drceného materiálu menší než šířka štěrby, padá rozdrcený materiál do zachytné nádoby. [10]





*Obr. č. 7 – Princip mechanismu čelistového drtiče [10]*

## **1.2. Výrobci drtičů**

Výrobci drtičů je celá řada. Následně budou uvedeny dva čeští výrobci a jeden zahraniční. Při návrhu vlastního řešení jsem se nechal inspirovat produkty právě těchto firem.

### **Firma Monts s.r.o**

Firma Monts s.r.o se sídlem v Hradci Králové se zaměřuje především na výrobky pro zpracování živočišného odpadu, potravinářství, chemii, petrochemii, zemědělství, farmacii a likvidaci komunálního odpadu. Patří mezi největší evropské výrobce strojů a zařízení pro zpracování živočišných odpadů.

#### Jemný drtič

Slouží k jemnějšímu drcení již hrubě nadrceného živočišného odpadu (kostí) v provozech na zpracování živočišných odpadů. Hrubě nadrcený materiál (kosti) je přiveden dopravními cestami do horní části vnitřního prostoru skříně drtiče. Zde je drcen pomocí dvou protiběžných rotorů a propadá do spodní části skříně drtiče, odkud je nadrcený materiál odváděn dopravními cestami k dalšímu zpracování. [8]



Obr. č. 8 – Jemný drtič od firmy Monts s.r.o [8]

### **Firma Taurus s.r.o**

Tato firma sídlí v Chrudimi. Zaměřuje se na výrobu mlecích zařízení pro výrobu šrotů a krmných směsí. Jedná se především o vertikální šrotovníky. Postupem času rozšířila svou výrobu o dopravníky sypkých hmot, zásobníky na obilí a šrot, míchačky krmných směsí a další.

#### Vertikální mlýn VM 4

je stroj, určený pro mletí obilnin, při čemž je mletý materiál drcen úderem mlecích těles s vysokou obvodovou rychlostí a třením o vnitřní povrch síťového koše. Mlýn je možné použít také k drcení kostí v kafilériích, drobných dřevěných odpadů v dřevozpracujících závodech, dále odpadů v čistírnách obilních mlýnů a hrudkovitých surovin v různých průmyslových provozech. [11]

Tab.č.1 -Technické parametry vertikálního mlýnu VM 4 [11]

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Délka	800 mm
Šířka	800 mm
Výška	1245mm
Hmotnost	210 Kg
Výkon elektromotoru	4 kW
Výkonnost	0,6-0,8 t.h <sup>-1</sup>
Max. průměr drceného materiálu	80x80 mm
Velikost drceného materiálu	dle velikosti síta (3,4,5,6,8 mm)



Obr. č. 9 – Vertikální mlýn VM 4 [11]

### Firma Retsch – Verden s.r.o

Tato firma byla založena v roce 1915 v německém Düsseldorfu. V současnosti má firma Retsch pobočky ve více než 70-ti zemích světa. Přístroje Retsch jsou používány ve vědě a průmyslu. Zaměřuje se na výrobu mlýnů a drtičů pro hrubé, jemné a velmi jemné bezkontaminační mletí téměř všech druhů materiálů. Mlýny a drtiče je možné úspěšně použít pro velkou škálu materiálů. Například k drcení plastů, textilu, odpadu, kostí, kůže, dřeva aj.

#### Čelistový drtič BB 200

Používá se pro rychlé, jemné drcení a předběžné drcení středně tvrdých, tvrdých, křehkých a houževnatých materiálů. Mezi jeho přednosti patří vysoký drticí výkon. [10]

Tab.č.2-Technické parametry čelistového drtiče BB200 [10]

Parametr	Hodnota
Délka	900 mm
Šířka	450 mm
Výška	1160mm
Hmotnost	300 Kg
Výkon elektromotoru	1,5 kW
Max. průměr drceného materiálu	90x90 mm
Velikost drceného materiálu	2-6mm



Obr. č. 10 – Čelistový drtič BB 200 [10]

### Střížný mlýn SM 300

Střížné mlýny jsou vhodné pro mletí měkkých, středně tvrdých, pevných, elastických, vláknitých a heterogenních směsí produktů. Výhodou tohoto drtiče je rychlé a snadné čištění díky zaklápěcí násypce, široký sortiment příslušenství včetně různých násypek, sběrných systémů, rotorů a sít. [10]

Tab.č.3-Technické parametry Střížného mlýnu SM 300[10]

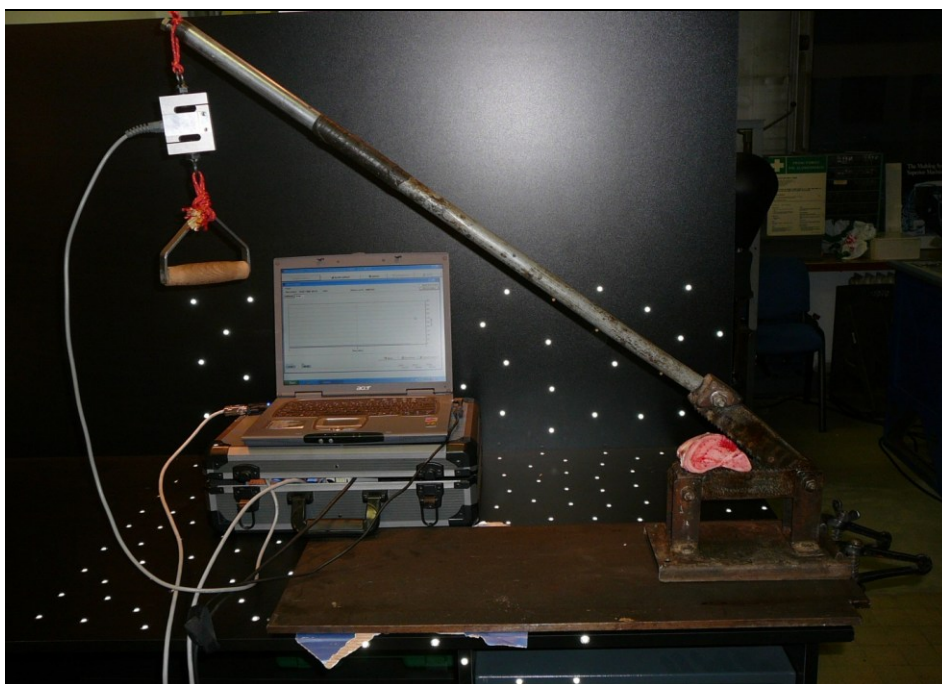
Parametr	Hodnota
Délka	750 mm
Šířka	576 mm
Výška	1677mm
Hmotnost	160 Kg
Výkon elektromotoru	3 kW
Max. průměr drceného materiálu	60x80 mm
Velikost drceného materiálu	0,25-20 mm



*Obr. č. 11 – Střížný mlýn SM 300 [10]*

## 2. Zkouška tvrdosti kosti

Před tím než provedu samotný návrh drtiče na kosti, potřebuji si nejdříve zvolit vhodný drticí mechanismus. Proto provedu testování tvrdosti kosti, abych zjistil potřebnou sílu k rozdrčení kosti. K testování byl použit domácí pákový drtič kostí, siloměr a počítačová technika. Pomocí počítače jsem vykreslil grafy po silovém zatížení vzorku kosti. Cílem bylo porovnat rozdíl tvrdosti kosti vařené a syrové. Při měření jsem se zaměřil hlavně na to, jakou sílu musím vyvinout k rozdrčení kostí.



*Obr. č. 12 – Testovací prostředí*

Na obrázcích jsou znázorněny kosti syrové a vařené. Jedná se o kosti prasečí, které jsou běžně k dostání v obchodech. Kostí prasečí jsem volil z toho důvodu, protože jsou nejvhodnější k zpracování krmné směsi pro domácí zvířata. Tyto kosti se prodávají již nařezány o standardní velikosti 55x55 mm. Podle těchto kostí si zvolím vstupní velikost otvoru drtiče.





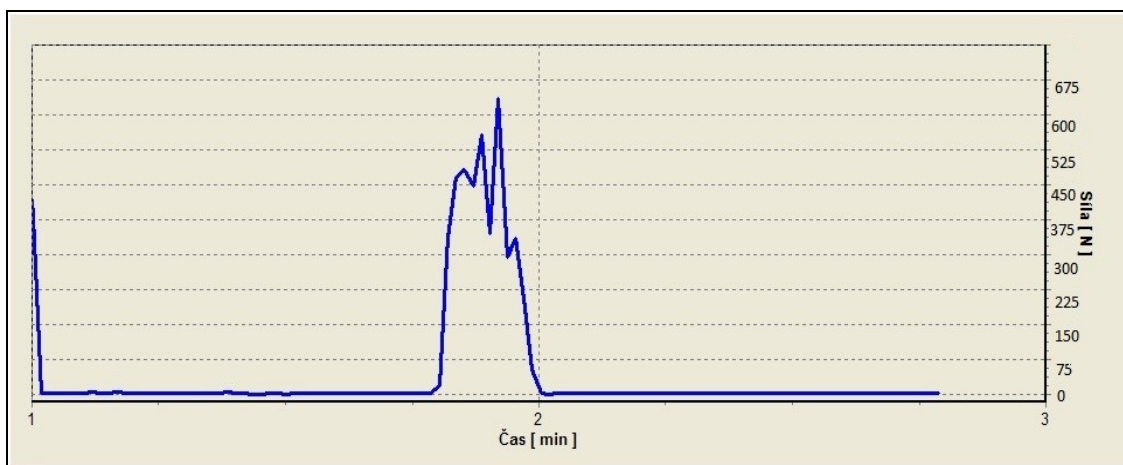
*Obr. č. 13 – Foto syrové kosti*



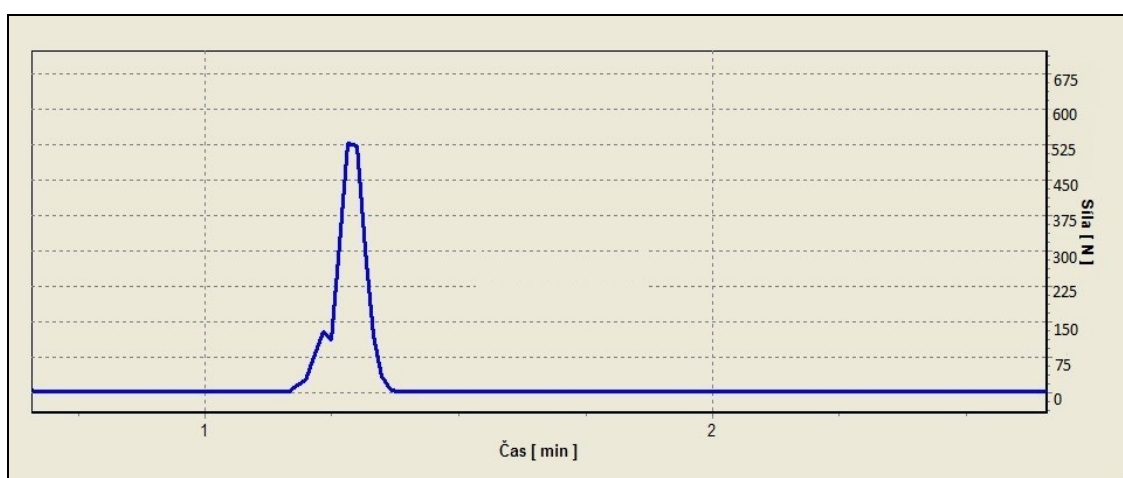
*Obr. č. 14 – Foto vařené kosti*

### Grafy syrových a vařených kostí

Pomocí počítačové techniky si vykreslíme grafy zatížení pro požadovanou kost. Na výsledných grafech lze vidět vykreslení postupného zatěžování kostí až do jejich prasknutí. V grafu kosti syrové vidíme, že jsme tuto kost museli zatěžovat postupně, aby praskla na rozdíl od kosti vařené, která nám praskla téměř ihned. Po uvaření se kost stává štěpivou a lépe se drtí na rozdíl od kosti syrové. Kost byla vařena přibližně 120 minut.



Obr. č. 15 – Zátěžový graf syrové kosti



Obr. č. 16 – Zátěžový graf vařené kosti

Skutečná síla působící na kost syrovou:

$$\begin{aligned}
 F_1 \cdot a_1 &= F_2 \cdot a_2 \\
 644 \cdot 100 &= F_2 \cdot 18 \\
 F_2 &= \frac{644 \cdot 100}{18} = 3577 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Skutečná síla působící na kost vařenou:

$$\begin{aligned}
 F_1 \cdot a_1 &= F_2 \cdot a_2 \\
 522 \cdot 100 &= F_2 \cdot 18 \\
 F_2 &= \frac{522 \cdot 100}{18} = 2900 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$



Celkem bylo provedeno 5 měření pro kost syrovou a dalších 5 pro kost vařenou. Zjistili jsme, že na syrovou kost musíme působit průměrnou silou 644 N (přibližně 64 Kg), abychom kost rozlomili, případně rozdrtili. U kosti vařené se na kost muselo působit průměrnou silou 522 N (přibližně 52 kg). Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce. Dále jsem vypočítal skutečnou sílu na kost pomocí vzorce pro jednozvratnou páku. Pákový drtič na kosti má délku ramena 100 cm. Skutečná síla na kost syrovou je 3577N a pro kost vařenou 2900N. V příloze B jsem uvedl schéma pro výpočet skutečné síly působící na kost.

*Tab. č. 4- Naměřené hodnoty testovaných kostí*

Měření	Syrová kost [N]	Vařená kost [N]
1.	640	520
2.	650	520
3.	645	525
4.	635	525
5.	650	520

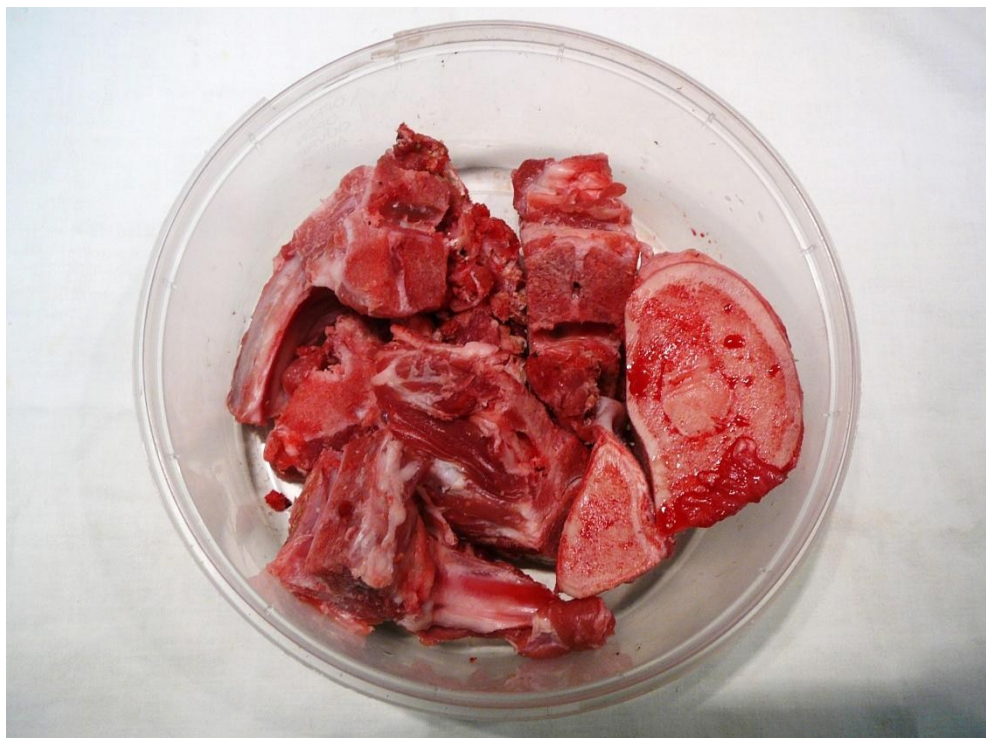
Na obr.č.17 vidíme kosti, které jsou již rozdrčené. Na levé straně obrázek nadrcené kosti syrové, napravo kost vařená.



*Obr. č. 17 – Obrázky nadrcených kostí*

## Určení velikosti vstupního otvoru drtiče

K určení vstupního otvoru drtiče jsme si nejdříve museli určit velikost kostí, které chceme dále zpracovávat na krmnou směs. Velikost kostí ke zpracování volím 55x55 mm. Tudíž velikost vstupního otvoru volím 60x60 mm.

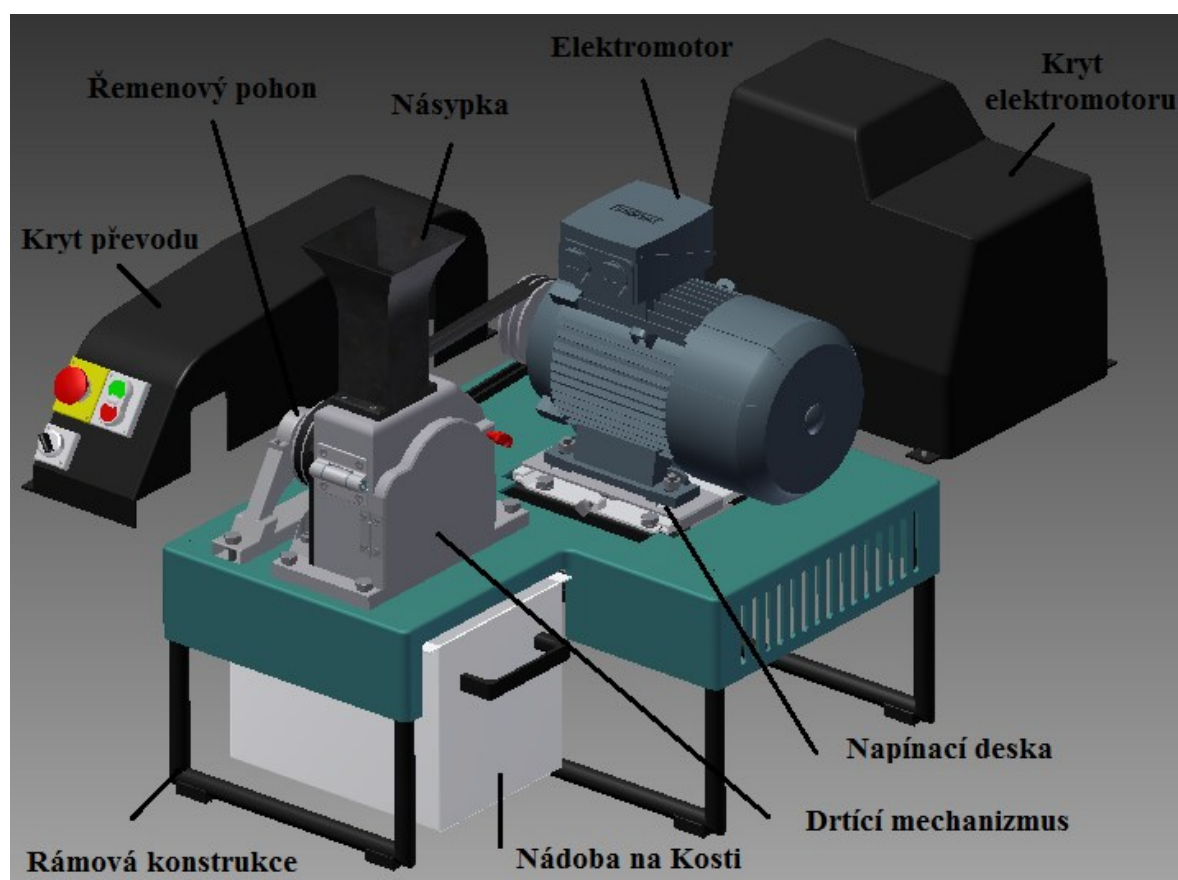


*Obr. č. 18 – Velikost kostí určených k zpracování*

Vzhledem k tomu, že tvrdost kostí je těžko matematicky určitelná, zvolím si takový drtící mechanismus, který kosti syrové i vařené jednoduše rozdrťí. Tímto mechanismem je střížný mlýn. Principem mletí v střížných mlýnech je stříhový efekt. Střížný efekt vzniká mezi břitem rotoru a břitem umístěným v těle drtícího mechanismu. Více o tomto mechanismu je uvedeno v kapitole 1.1.

### 3. Vlastní návrh drtícího stroje

Při konstrukci drtícího stroje jsem se hlavně zaměřil na jednoduchou konstrukci. U vyráběných drtičů jsem se inspiroval tvarem jednotlivých částí, především skříní drtící komory. Konstrukce drtiče se skládá ze 4 hlavních částí, a to z rámové konstrukce, drtící jednotky, řemenového převodu a elektromotoru. Drtící jednotka je složena ze dvou hlavních částí, z horní a spodní části drtící komory. Uvnitř skříně se otáčí rotor, který vykonává drcení. Výsledkem návrhu je zhotovený 3D model s výkresem sestavy spolu s dalšími vybranými výrobními výkresy.



*Obr. č. 19 – Domácí drtič kostí*

#### Návrh pohonu

Pro pohon domácího drtiče kostí lze použít různé druhy hnacích pohonů. Zvolený pohon by měl splňovat určitá kritéria, jako jsou např.: jednoduchost uspořádání, malé rozměry, snadná údržba, nízká cena atd. Pro domácí drtič kostí byly navrženy 3 pohony. Z těchto pohonů byl pak porovnáním jejich vlastností zvolen ten nejvhodnější, který nejlépe splňuje daná kritéria.

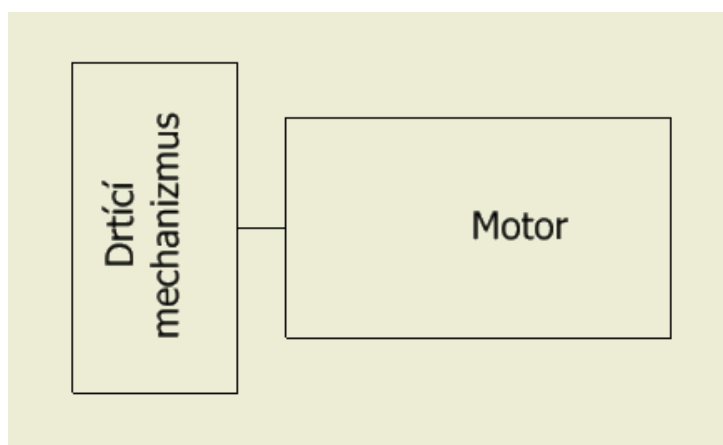
## Přímý pohon

### Výhody

Jednoduché uspořádání, malé rozměry, snadná údržba, nízká cena.

### Nevýhody

Hřídel rotoru je napojen přímo na hnací hřídel motoru pevnou spojkou. Při přenosu kroutícího momentu vnikají velké rázy, které působí od drtícího mechanismu. Tyto rázy se pak dále přenáší na ložiska motoru, které se tímto rychleji znehodnocují.



*Obr. č. 20 – Schéma pohonu přímého*

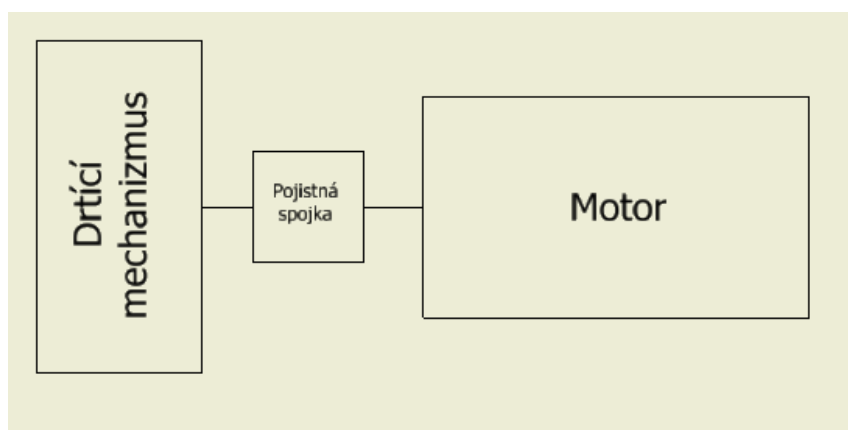
## Přímý pohon s pružnou spojkou

### Výhody

Jednoduché uspořádání, tichý chod, malé rozměry snadná údržba, dlouhá životnost.

### Nevýhody

Složité uložení ložisek, nutnost hřídel rotoru uložit mezi ložisky tak aby se nekýval, pojistná spojka má vysokou pořizovací cenu.



Obr. č. 21 – Schéma přímého pohonu s pojistnou spojkou

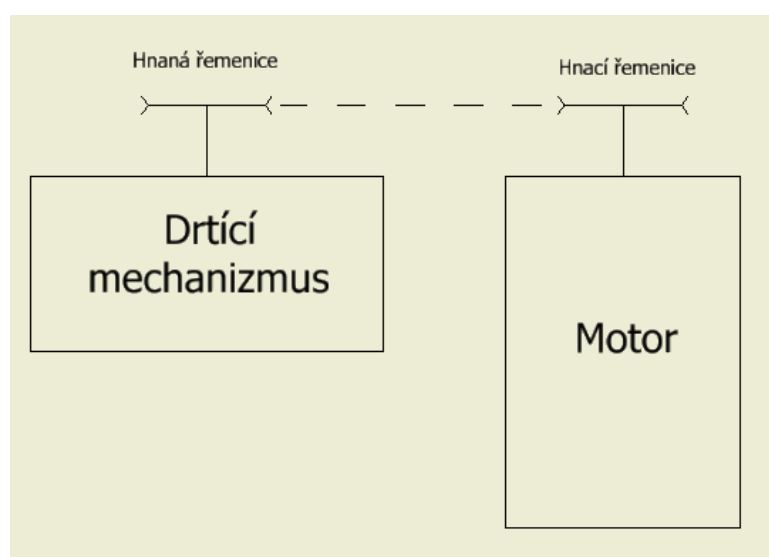
## Pohon pomocí jednoduchého řemenového převodu

### Výhody

Jednoduché uspořádání, tichý chod, snadná údržba, řemen slouží jako pojistka pohonu před přetížením, tlumí rázy, jednoduchá výroba, nízká cena.

### Nevýhody

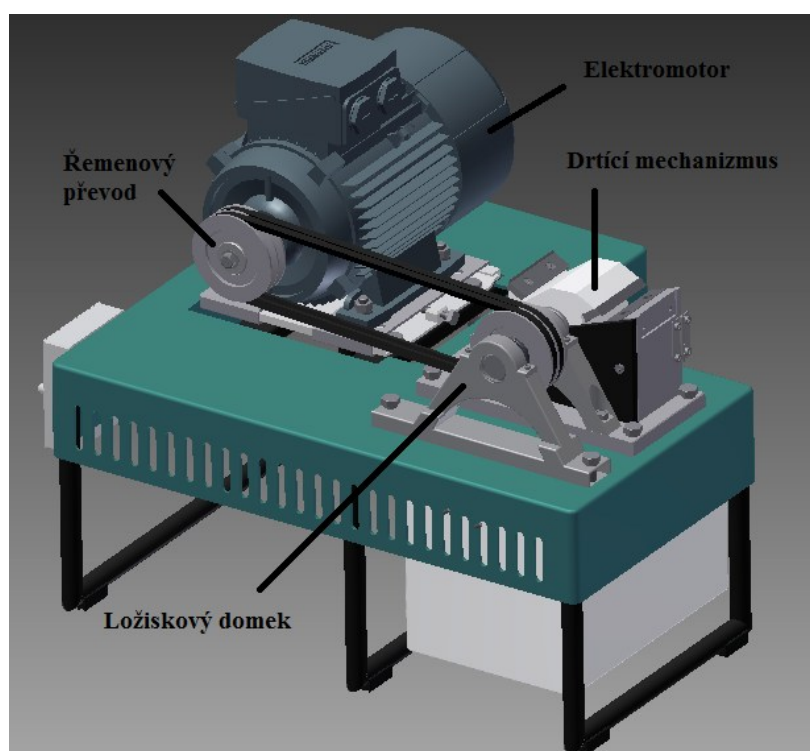
Špatná odolnost proti vlivům prostředí (prach, vlhkost), velké působení tlaku na ložiska, nestálý převod způsobený prokluzem řemenu, složitější vytahování řemenu a jeho následné napínání.



Obr. č. 22 – Schéma jednoduchého řemenového převodu

Pro své vlastnosti byl zvolen jako ten nejvhodnější pohon pomocí jednoduchého řemenového převodu. Převodový poměr se přenáší od elektromotoru přes jednoduchý řemenový převod na hřídel drtícího mechanismu. Na hřídeli je pak nasazen rotor drtiče, který provádí samotné drcení.

Pro vybraný pohon byl zvolen dle požadovaného výkonu 2,2 kW asynchronní elektromotor 1LE1 002-1AB42 s otáčkami  $n=1420$  [min<sup>-1</sup>] od firmy Siemens s.r.o. Výkon byl určen porovnáním výkonů podobných strojů u konkurenčních výrobců drtících strojů.

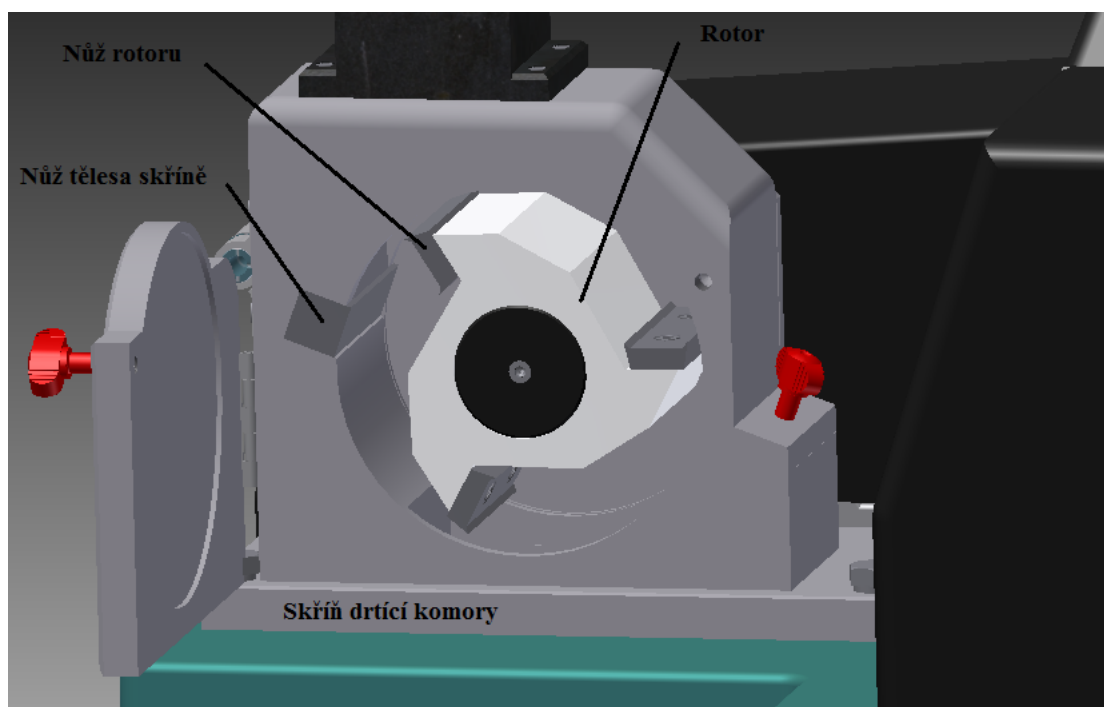


*Obr. č. 23 – Jednoduchý řemenový pohon*

### Návrh drtícího mechanismu

Drtící mechanismus se skládá ze skříně, v které je vyfrézována drtící komora a drážka pro nůž drtící komory. Uvnitř se otáčí rotor s noži. Nože mají z obou stran ostří. Při otupení jednoho ostří nůž odšroubujeme, otočíme naopak a dále používáme. Vzorek kosti přijde do styku s rotorem, a je rozdrcen mezi břity rotoru a břitem, který je usazen v tělese skříně drtící komory.

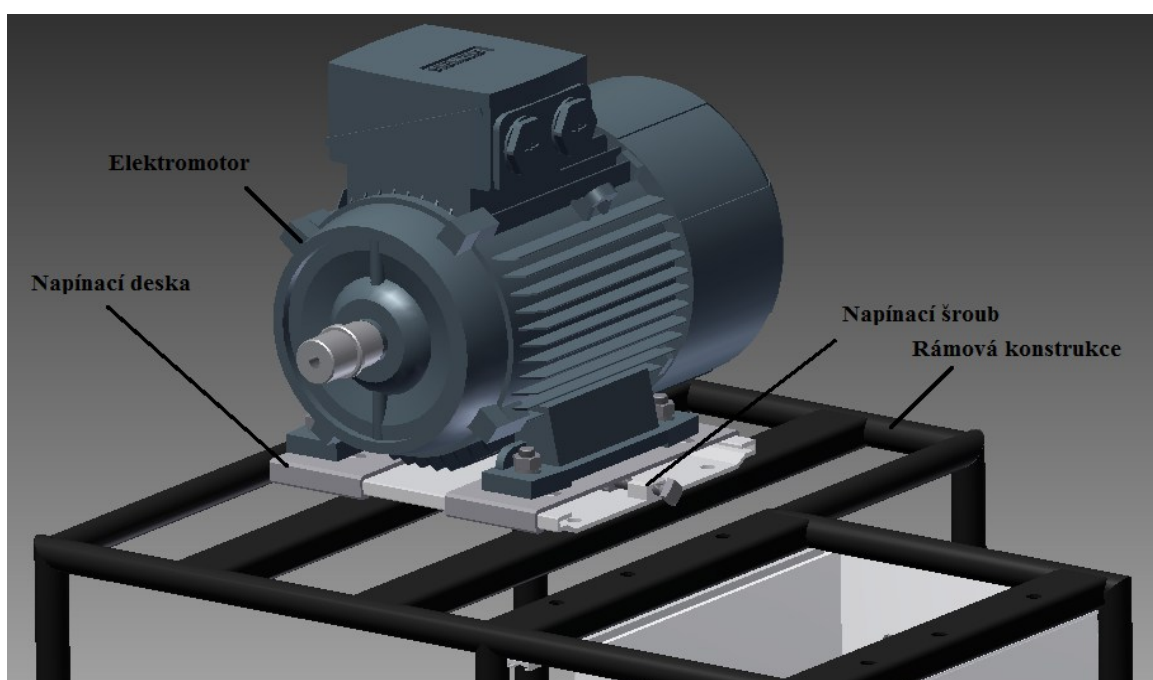




*Obr. č. 24 – Drtící mechanismus*

### Napínání řemenového převodu

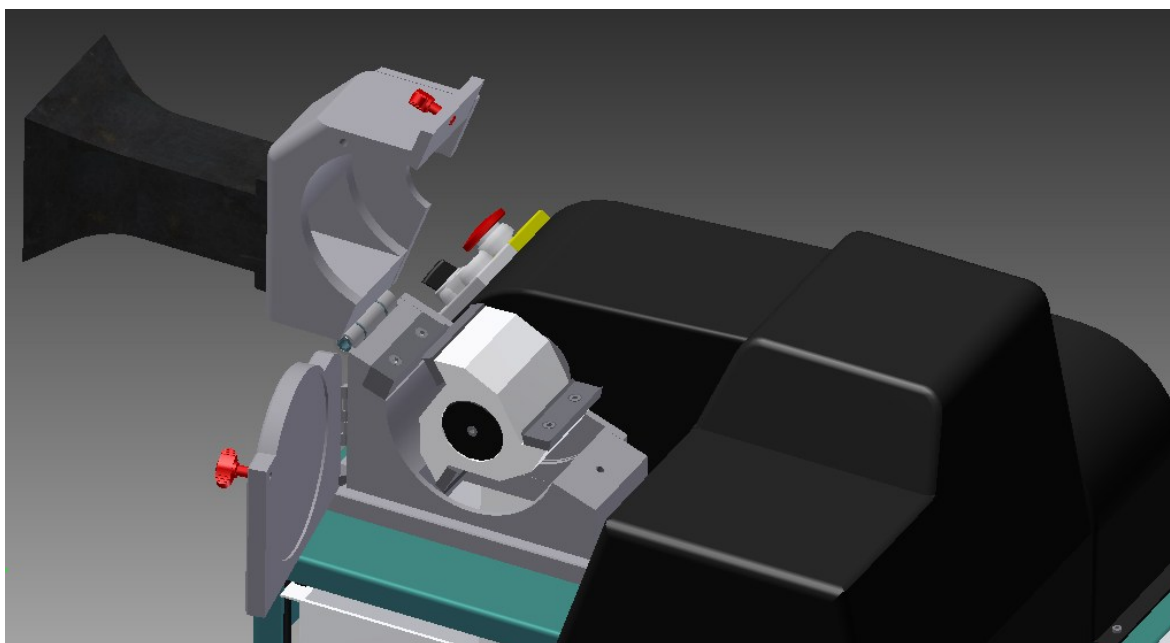
K napínání řemenu použijeme napínací desku. Zajišťuje nám souosost řemenic, jednoduché a rychlé napínání řemene pomocí stavěcího šroubu. Elektromotor je uchycen k napínací desce šroubovým spojením, tak jako napínací deska k rámu.



*Obr. č. 25 – Napínací deska pod motor*

## Snadné čištění

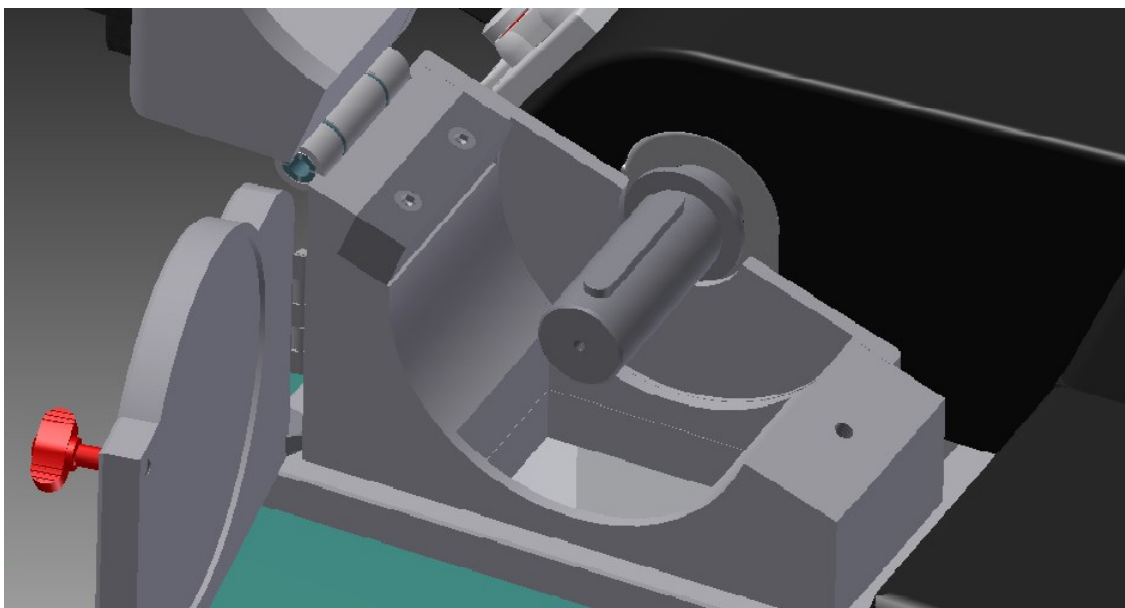
Při práci stroje se můžou v drtící komoře usazovat drobné částice nadrcených kostí, které by postupně drtící komoru mohly zanést. Proto jsem přemýšlel jak nejrychleji pracovní prostor drtiče vyčistit. Skříň se skládá ze dvou částí: horní a dolní. V dolní skříni drtící komory je vyfrézovaná drážka kde upínáme nůž. Pomocí utahovacích šroubů lze komfortně, rychle a bez použití náradí se dostat k drtícímu mechanismu. Následně můžeme skříň otevřít a dostat se tak k mechanismu drtiče. Komeru drtícího stroje vypláchneme vodou a vyčistíme kartáčem.



*Obr. č. 26 – Polohovatelná skříň drtícího mechanismu*

Uvnitř pracovního prostoru drtiče se nachází rotor s noži, který je nasazen na hnaném hřídeli. Hřídel tak plní funkci nástrčného trnu. Tělo rotoru lze nasunout na hřídel. S rotorem tak lze libovolně manipulovat. Proti protočení jej zajistíme strojním perem a proti posunu do strany pomocí podložky se šroubem.

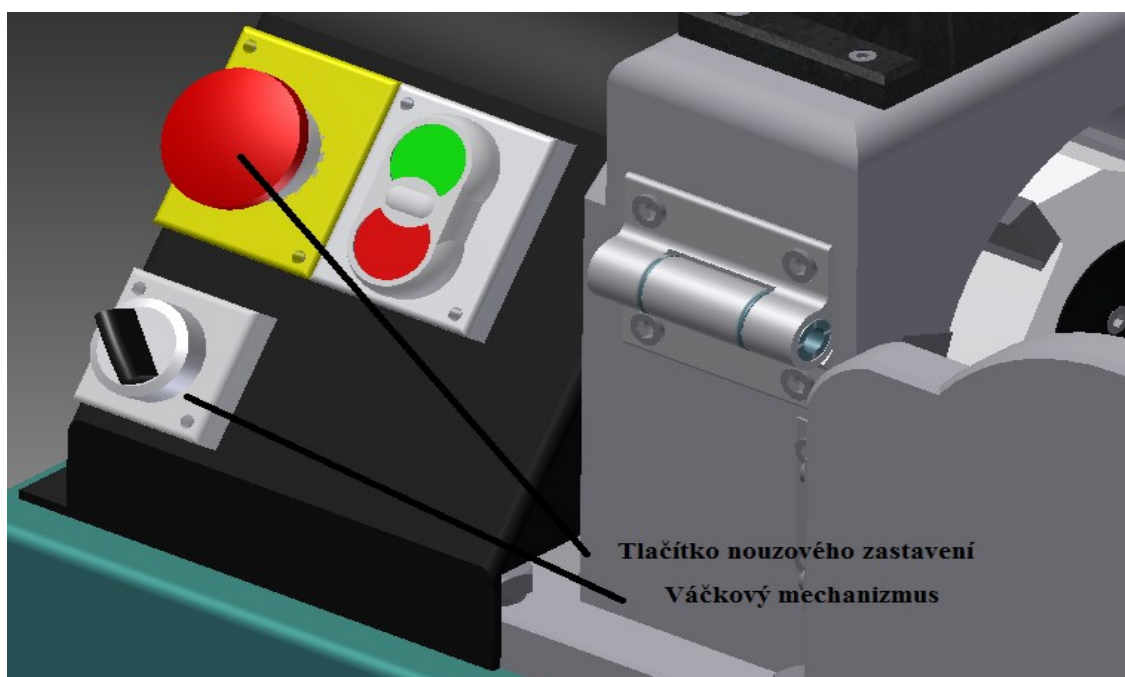




*Obr. č. 27 – Nástrčný hřídel uvnitř drtící komory*

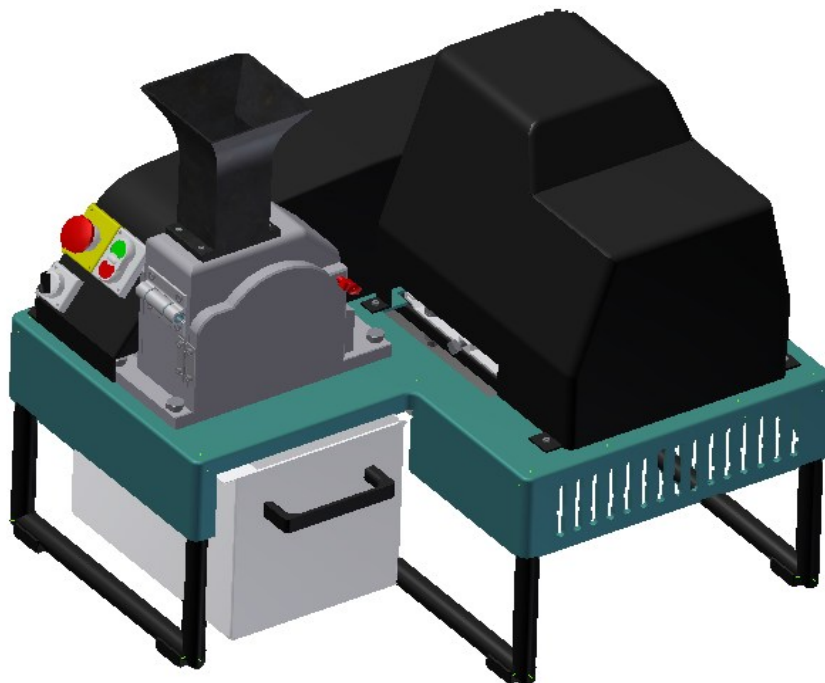
### Bezpečnostní prvky

Jsou to prvky, které detekují nebezpečí (tlačítko nouzového zastavení, stykače, polohový spínač atd.). Tato tlačítka slouží k rychlému a spolehlivému okamžitému zastavení stroje nebo zařízení v případě nebezpečí. Drtič je vybaven váčkovým spínačem a tlačítkem nouzového zastavení. Pokud není váčkový spínač v poloze start, drtič nelze zapnout. Tlačítko nouzového zastavení slouží k okamžitému vypnutí stroje při havárii.



*Obr. č. 28 – Bezpečnostní prvky*

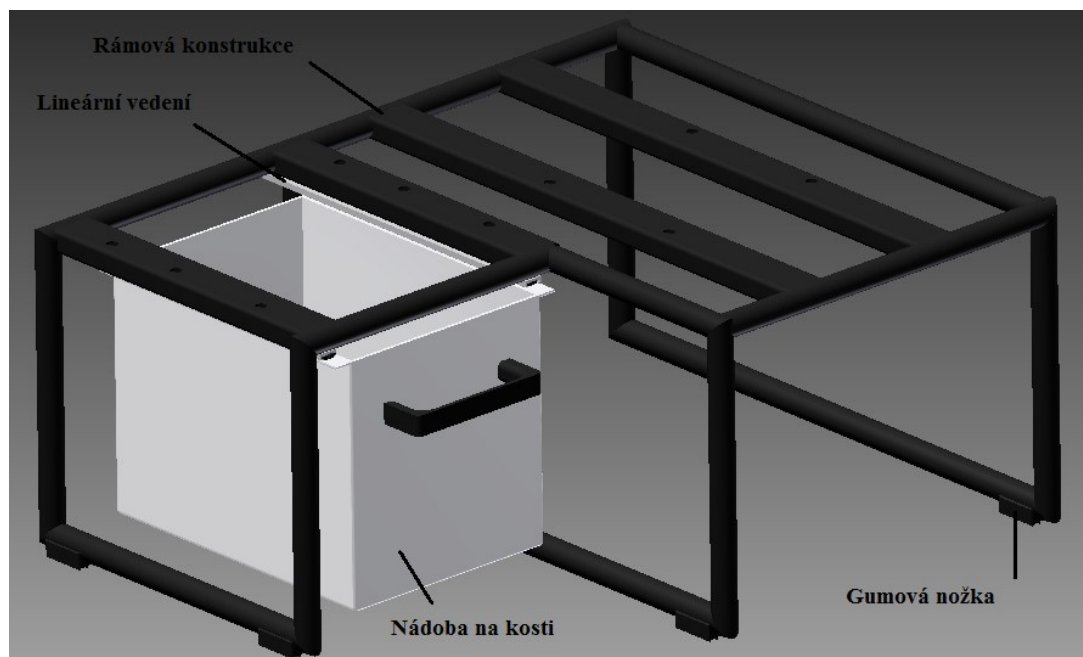
K dalším bezpečnostním prvkům patří zakrytování celého stroje pomocí plastových krytů. Slouží především k ochraně člověka v nebezpečném prostoru pracovního stroje v případě poruchy, ale také chrání zařízení samotné. Zabraňuje vniknutí vnějších vlivů (nečistot, prachu, vodě atd.) do pohonné jednotky a mechanismu stroje.



*Obr. č.29 – Zakrytování drtiče*

### Navržení rámu

Rám drtícího stroje tvoří svařovaná konstrukce z profilových trubek kruhového a obdélníkového průřezu. Pro lepší stabilitu jsou na rám namontovány gumové nožičky. Součástí rámu je také nádoba na kosti. Pro manipulaci s nádobou se používá madlo, kterým nastavujeme polohu. Díky lineárnímu kolejnicovému vedení můžeme s nádobou libovolně pohybovat. Nádoba na drcenou směs má objem 12 litrů.



*Obr. č. 30 – Rám drtiče*

## 4. Kontrolní výpočty

Při konstrukčním návrhu drtiče jsem se rozhodl, že drtící mechanismus stroje bude pracovat na principu střížného mlýnu. Vypočítám si tedy střížnou sílu kosti. V této práci bylo provedeno také testování tvrdosti kosti při drcení. Výsledky jsou však jen teoretické, budu tedy vycházet z podobnosti drtícího stroje od firmy Retsch. V tabulce jsou uvedeny rozdíly mezi jednotlivými kostmi.

Tab.č.5-Tabulka tvrdostí kostí

Kost	Hustota [Kg/m <sup>3</sup> ]	Modul pružnosti [MPa]
Hovězí	1700 - 2000	19000 - 42000
Vepřová	1600 - 1900	14900
Lidská	1700 - 2000	17000 - 26000

### 4.1. Výpočet střížné síly

Při výpočtu střížné síly jsem vycházel z podobnosti stroje od firmy Retsch Sm100. Tento střížný mlýn má definovanou maximální vstupní velikost materiálu 60x80 mm. Nejdříve vypočítám střížnou sílu mlýnu Sm100 a poté jej porovnám s mým návrhem drtícího stroje.

Tab.č.6 – Technické parametry drtiče Retsch Sm100

Výkon [Kw]	Otáčky [ot./min]	Průměr rotoru [mm]	Účinnost [%]
1,5	1500	129,5	82

Krouticí moment rotoru Retsch Sm100: [10]

$$Mk_1 = \frac{30 \cdot P_1}{\pi \cdot n_R} = \frac{30 \cdot 1500}{\pi \cdot 1500} = 9,55 N \cdot m \quad (4.11)$$

Z krouticího momentu pak dále vypočítám střížnou sílu:

$$F_{střt} = \frac{Mk_1}{\frac{D_{r1}}{2}} = \frac{2 \cdot 9,55 \cdot 10^3}{129,5} = 147,5 N \quad (4.12)$$

Tab.č.7 – Technické parametry elektromotoru Siemens 1LE1 002-1AB42

Výkon [Kw]	Otáčky [ot./min]	Jmenovitý moment [Nm]	Účinnost [%]
2,2	1420	14	84

Krouticí moment rotoru:

$$Mk_2 = \frac{30 \cdot P_2}{\pi \cdot n_1} = \frac{30 \cdot 2200}{\pi \cdot 1420} = 14,48 N \cdot m \quad (4.13)$$

Z krouticího momentu pak dále vypočítám střížnou sílu:

$$F_{stř} = \frac{Mk_2}{\frac{D_r}{2}} = \frac{2 \cdot 14,43 \cdot 10^3}{129,5} = 224 N \quad (4.14)$$

$Mk_1$ ...krouticí moment drtiče Retsch Sm100

$Mk_2$ ...krouticí moment elektromotoru Siemens 1LE1 002-1AB42

$P_1$ ...výkon elektromotoru drtiče Retsch Sm 100

$P_2$ ...výkon elektromotoru Siemens 1LE1 002-1AB42

$D_r$ ... průměr rotoru drtiče Retsch Sm 100

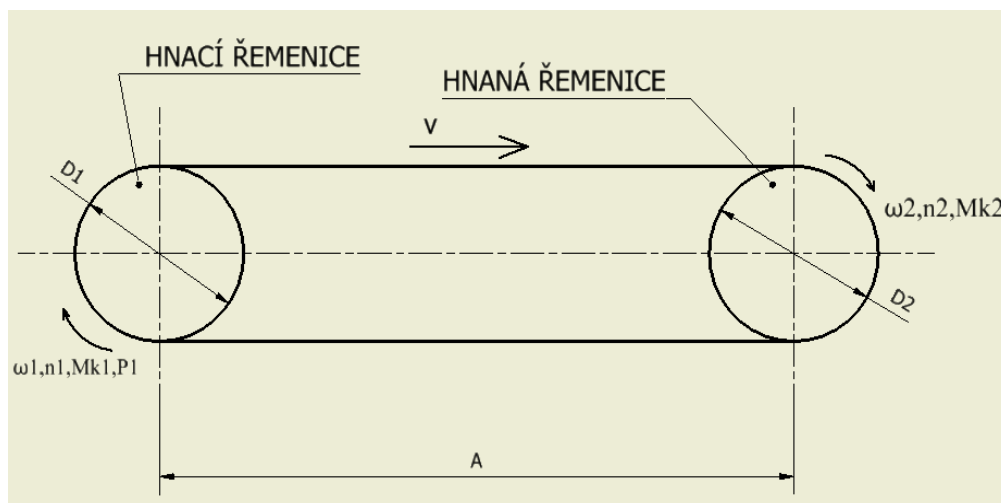
$D_{r1}$ ... průměr rotoru

$n_1$  ... otáčky elektromotoru drtiče Retsch Sm 100

$n_R$  ... otáčky elektromotoru Siemens 1LE1 002-1AB42

## 4.2. Výpočet řemenového klínového převodu

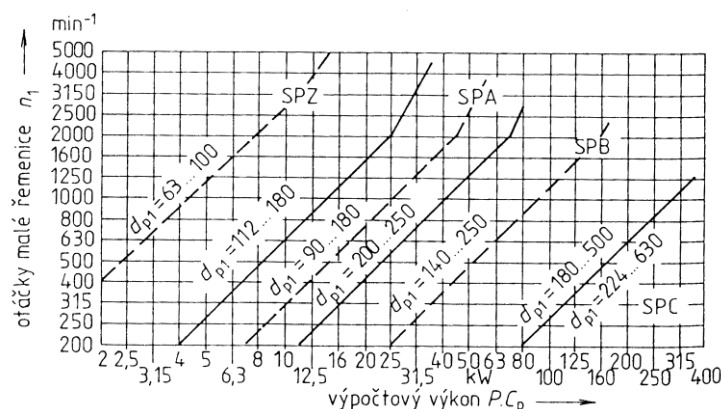
Cílem je navrhnout řemenový převod pro přenos výkonu z elektromotoru na hřídel drtícího mechanismu. Převodový poměr řemenového převodu je 1:1.



Obr.č.31 – Schéma klínového převodu

Podle tabulky č.10, která je uvedena v příloze A jsem určil součinitel  $c_p$ . Zvolil jsem si střídavý asynchronní elektromotor, který pohání drtič (tedy těžký provoz) v jedné pracovní směně. Volím  $c_p=1,2$ .

Podle výkonu jsem si z tabulky č.10 zvolil normalizovaný řemen SPZ ČSN 02 3112 s úhlem klínu řemene  $\alpha=40^\circ$ . Tento typ řemene se používá pro přenášený výkon přibližně 2 kW.



Z tabulky č. 8 jsem zvolil normalizovaný průměr řemenic  $D_{1,2}=90$  mm.

Tab.č.8 – Normalizované velikosti průměrů řemenic [6]

SPZ	(63)	(67)	71	75	80	85	90	95	100	106	112	118	125	140	160
	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	
SPA	(90)	(95)	100	106	112	118	125	132	140	150	160	180	200	224	
	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000		
SPB	(140)	(150)	160	170	180	190	200	212	224	236	250	280	315	355	
	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600		
SPC	224	250	265	280	315	355	400	450	500	560	630				
	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000					

Výpočet teoretického převodového poměru:

$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{90}{90} = 1 \quad (4.15)$$

Výpočet skutečného převodového poměru, který respektuje provozní skluz:

$$i_{sk} = \frac{D_2}{D_1 \cdot (1 - s)} = \frac{90}{90 \cdot (1 - 0,01)} = 1,0101 \quad (4.16)$$

s=0,01... provozní skluz [3]

Kontrola skutečného převodového poměru:

$$i \cdot \left(1 - \frac{\Delta i}{100}\right) \leq i_{sk} \leq i \cdot \left(1 + \frac{\Delta i}{100}\right)$$

$$1 \cdot \left(1 - \frac{1}{100}\right) \leq 1,0101 \leq 1 \cdot \left(1 + \frac{1}{100}\right) \quad (4.17)$$

$$0,990 \leq 1,0101 \leq 1,0101 \dots \text{vyhovuje}$$

$\Delta i=1\%$ ... tolerance převodového poměru [6]

Výpočet osové vzdálenosti:

Předběžná osová vzdálenost A'

$$A' = 1,45 \cdot (D_1 + D_2) = 1,45 \cdot (90 + 90) = 261 \text{ mm} \quad (4.18)$$

Volím osovou vzdálenost A = 300 mm

Kontrola osové vzdálenosti

$$\begin{aligned}
 A_{MIN} &< A < A_{MAX} \\
 0,7 \cdot (d_1 + d_2) &< A < 2 \cdot (d_1 + d_2) \\
 0,7 \cdot (90 + 90) &< A < 2 \cdot (90 + 90) \\
 126 &< A < 360 \\
 126 < 300 < 360 &\dots \text{vyhovuje}
 \end{aligned}
 \tag{4.19}$$

Výpočet úhlu opásání malé řemenice  $\beta$ :

$$\cos \frac{\beta}{2} = \frac{d_1 - d_2}{2 \cdot A} \Rightarrow \beta = 2 \cdot \arccos \left( \frac{d_1 - d_2}{2 \cdot A} \right) = 2 \cdot \arccos \left( \frac{90 - 90}{2 \cdot 300} \right) = 180^\circ
 \tag{4.20}$$

Výpočet součinitele úhlu opásání  $C_\alpha$ :

$$\frac{d_1 - d_2}{A} = \frac{90 - 90}{300} = 0
 \tag{4.21}$$

$$\beta = 180^\circ \Rightarrow C_\alpha = 1 [6]$$

Výkon přenášený jedním řemenem  $P_{id}$  : [6]

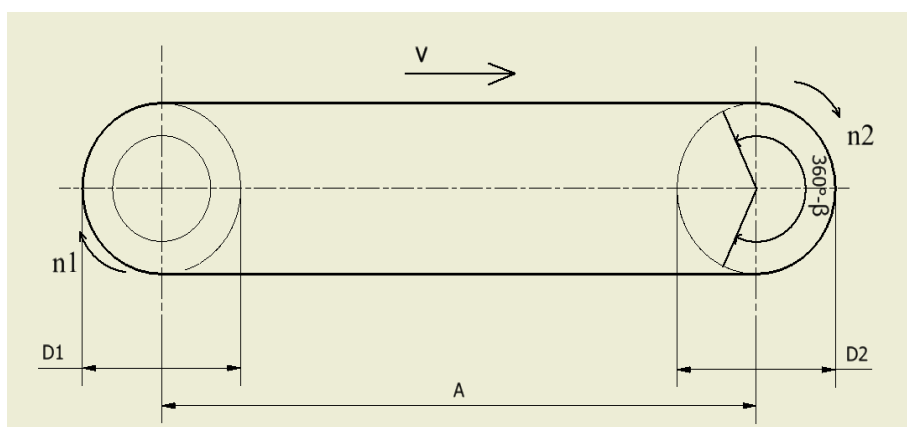
$$n_1 = 1420 \text{ ot/min}$$

$$d_1 = 90 \text{ mm}$$

$$i_{sk} = 1,0101 \Rightarrow P_{id} = 1,98 \text{ kW} [6]$$

Výpočet délky klínového řemene SPZ:

Uzavřenou délku řemene  $L_p$  jsem určil geometrickým výpočtem. [3]



Obr.č.32 – Výpočet délky řemene



$$L_p' = 2 \cdot A \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{2} \cdot (D_1 + D_2) + \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (D_2 - D_1) \quad (4.22)$$

$$L_p' = 2 \cdot 300 \cdot 1 + \frac{\pi}{2} \cdot (180) + \frac{\pi \cdot 0}{180} \cdot (90 - 90) = 882,74 \text{ mm}$$

volím normalizovanou délku řemene  $L_p = 900 \text{ mm}$  [6]

Volba počtu řemenů:

Z tabulky č.10 si volím součinitel zatížení pro těžký pohon  $c_p = 1,2$ . Pro jednosměnný provoz.

Výpočtový výkon:

$$P_v = P_2 \cdot c_p = 2200 \cdot 1,2 = 2,64 \text{ kW} \quad (4.23)$$

Skutečný přenositelný výkon jedním řemenem:

Je ovlivněn úhlem opásání malé řemenice, vlivem délky řemene a součinitelem dynamičnosti podle vztahu.

$$P_{sk} = P_{id,1} \cdot \frac{c_\alpha \cdot c_L}{c_p}$$

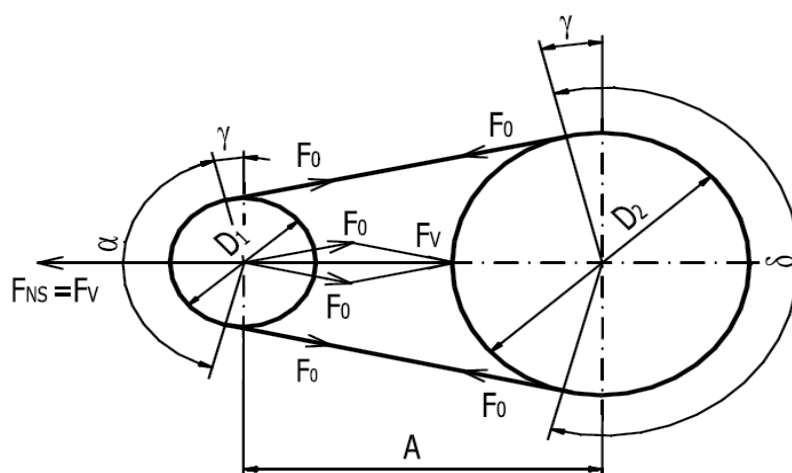
$$P_{sk} = 1,98 \cdot \frac{1 \cdot 0,86}{1,2} = 1,419 \text{ kW} \quad (4.24)$$

$C_\alpha = 1$ ,  $C_L = 0,86$ ,  $C_p = 1,2 \dots$  [6]

Volba počtu řemenů:

$$K = \frac{P_2}{P_{sk}} = \frac{2,2}{1,419} = 1,55 \dots \text{volím 2 řemeny} \quad (4.25)$$

Výpočet předpětí řemene:



Obr.č.33 – Schéma napínání řemene

Předpětí je důležité pro bezporuchovou a správnou funkci řemenového převodu a dosažení co nejdelší životnosti. Je-li řemen nedostatečně napnut, na řemenicích prokluzuje, nepřenáší celý výkon a způsobuje nežádoucí vibrace v pohonu stroje. Naopak je-li řemen napnut příliš, tzv. natvrdo, trpí ložiska a hřídel nadměrným namáháním. [3]

Potřebné předpětí řemene:

$$F_o = k \cdot \frac{F}{2} \cdot \frac{e^{f_k \cdot \hat{\alpha}} + 1}{e^{f_k \cdot \hat{\alpha}} - 1} = 1,5 \cdot \frac{328,8}{2} \cdot \frac{e^{1,32193,142} + 1}{e^{1,32193,142} - 1} = 254,5 N \quad (4.26)$$

$k=1,5$ ...je bezpečnost proti prokluzu řemene

$\alpha=3,142$ ....úhel opásání male řemenice v obloukové míře

Přenášená obvodová síla  $F$ :

$$F = \frac{2 \cdot Mk}{D_1} = \frac{2 \cdot 14,8}{0,09} = 328,8 N \quad (4.27)$$

Součinitel tření v klínové drážce:

$$f_K = \frac{f}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,4302}{\sin \frac{34}{2}} = 1,3219$$

$\alpha=34^\circ$ .... úhel drážky řemenice

Součinitel vláknového tření:

$$f = f_0 + 0,012 \cdot v_1 = 0,35 + 0,012 \cdot 6,69 = 0,4302 \quad (4.28)$$

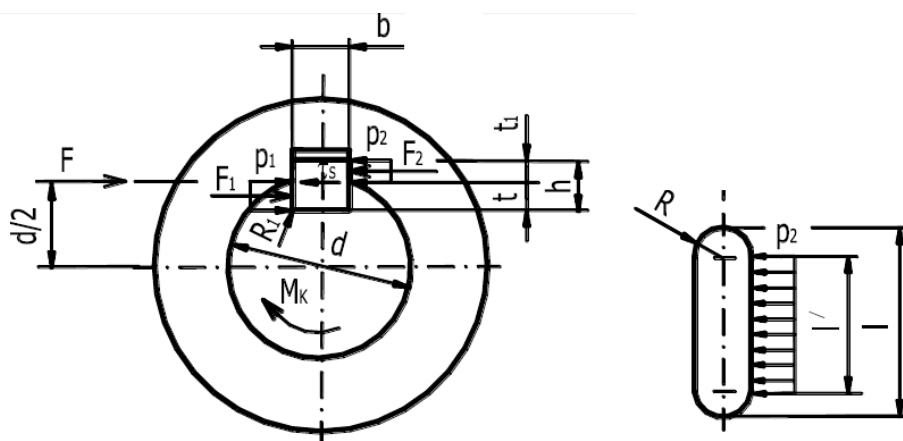
$f_0 = 0,35$ .... Součinitel suchého smykového tření [3]

Obvodová rychlost hnací řemenice:

$$v_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60} = \frac{\pi \cdot 0,09 \cdot 1420}{60} = 6,69 \text{ m/s} \quad (4.29)$$

### 4.3. Kontrolní výpočet spojení hřídel – náboj

Pero slouží k přenosu momentu mezi hřídelí a řemenicí. Kontrolují otlačení mezi perem a rotorem a také mezi perem a řemenicí. [4]



Obr.č.34 – Spojení pomocí těsného pera

Zkontrolují spojení těsným perem na otlačení dle dovoleného tlaku, mezi hřídelem drtícího mechanismu a rotorem. Hřídel má průměr 32mm. Jedná se o PERO 10e7 x 8 x63 ČSN 02 2562. Parametry těsného pera:  $b = 10 \text{ mm}$ ,  $h = 8 \text{ mm}$ ,  $t = 4,7 \text{ mm}$ ,  $t_1 = 3,3 \text{ mm}$ . [6]

Krouticí moment na hřídeli rotoru:

$$Mk = \frac{30 \cdot P_2}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 2200}{\pi \cdot 1420} = 14,48 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (4.31)$$

Síla stlačení  $F_2$ :

$$F_2 = \frac{Mk}{\frac{d_1}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{14,48}{\frac{0,032}{2} + \frac{0,0033}{2}} = 820N \quad (4.32)$$

Tlaky na kontaktních plochách jsou rozloženy rovnoměrně. V náboji je otláčovaná jen přímá část boku pera délky  $l'$  a hloubka drážky  $t_1 < t$ , proto platí  $p_2 > p_1$ . [2]

$$l' \geq \frac{F_2}{p_{D2} \cdot t_1} = \frac{820}{40 \cdot 3,3} = 6,2mm \quad (4.33)$$

Výpočet pro délku pera:

$$l = l' + b = 6,2 + 10 = 16,2mm \dots \text{volím délku pera } l = 60mm.$$

Dále zkontroluji pero na otlačení dle dovoleného tlaku mezi hřídelem drtícího mechanismu a řemenicí. Hřídel má průměr 30mm. Jedná se o PERO 8e7 x 7 x 22 ČSN 02 2562. Parametry těsného pera:  $b = 8 \text{ mm}$ ,  $h = 7 \text{ mm}$ ,  $t = 4,1 \text{ mm}$ ,  $t_1 = 2,9 \text{ mm}$  [6]

Síla stlačení  $F_2$ :

$$F_2 = \frac{Mk}{\frac{d_1}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{14,48}{\frac{0,030}{2} + \frac{0,0029}{2}} = 880N \quad (4.34)$$

Tlaky na kontaktních plochách jsou rozloženy rovnoměrně. V náboji je otláčovaná jen přímá část boku pera délky  $l'$  a hloubka drážky  $t_1 < t$ , proto platí  $p_2 > p_1$ . [2]

$$l' \geq \frac{F_2}{p_{D2} \cdot t_1} = \frac{880}{40 \cdot 2,9} = 10,1mm \quad (4.35)$$

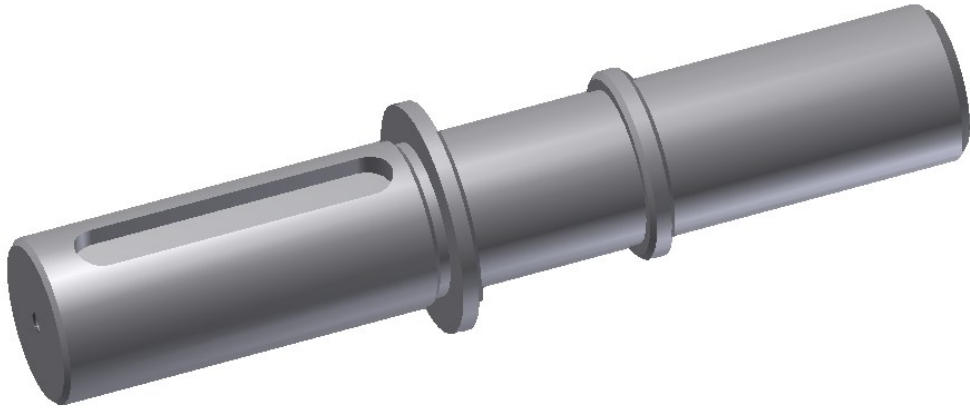
Výpočet pro délku pera:

$$l = l' + b = 10,1 + 8 = 18,1mm \dots \text{volím } l = 22mm$$

Dovolený měrný tlak pro slitiny hliníku  $p_{D2} = (30 \div 40)MPa$  [6]

#### 4.4. Kontrola hřídele

Materiál k výrobě hřídele jsem zvolil ocel 11500. Dovolené napětí v ohybu pro ocel 11500  $\sigma_D = 90\text{MPa}$ , dovolené napětí na krut  $\tau = 50\text{MPa}$ . Hřídel je uložena v ložiscích. Je namáhána na ohyb a krut. Při návrhu nejmenšího průměru hřídele vycházím z podmínky na dovolený krut. [6]



Obr.č.36 – Hřídel Rotoru

Podmínka namáhání hřídele krutem:

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d'_h}{16}} \leq \tau_D \quad (4.41)$$

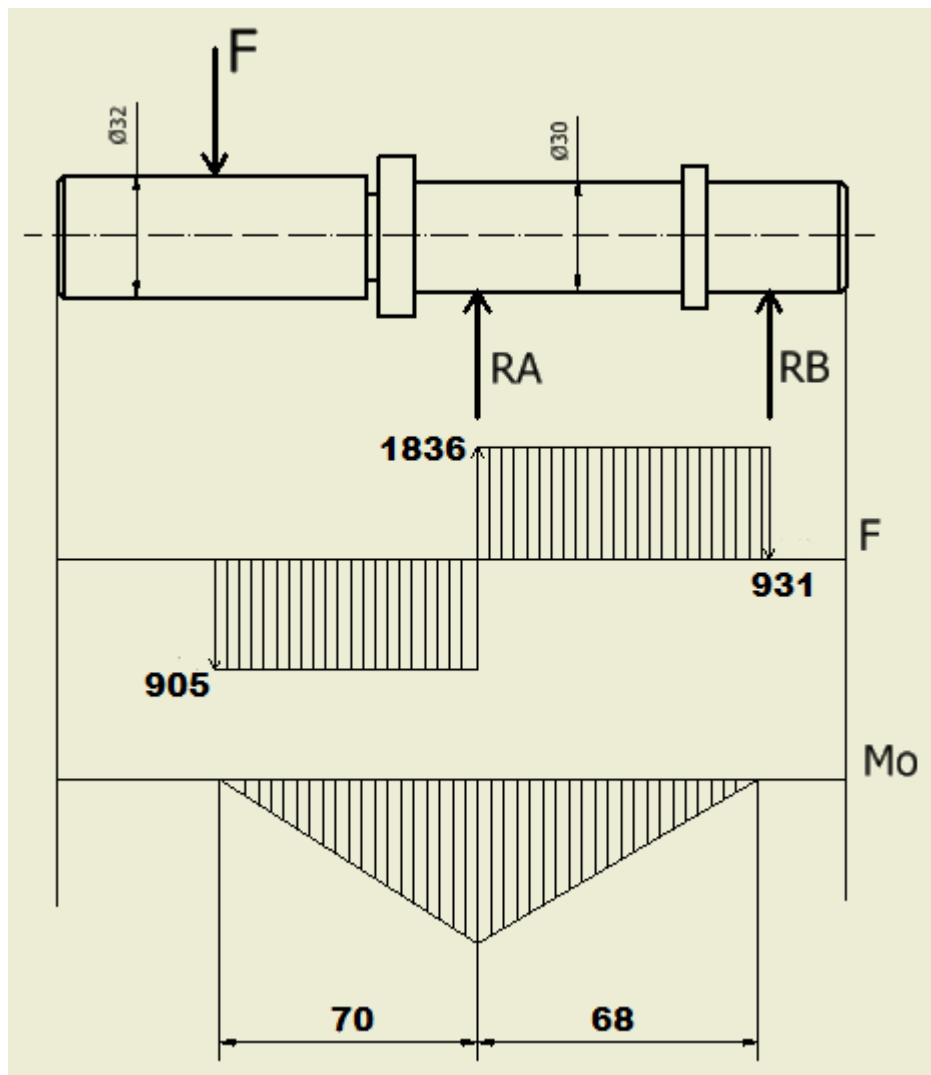
$\tau_D = 50\text{MPa}$ ...pro ocel hřídele 11500

Vyjádření  $d'_h$  z podmínky:

$$\Rightarrow d'_h = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{k2}}{\pi \cdot \tau_D}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 14,48}{\pi \cdot 50}} = 11,4\text{mm} \quad (4.42)$$

Skutečný nejmenší průměr hřídele:

$d_1 = d'_h + t = 11,4 + 4,7 = 16,1\text{mm}$ ...z důvodu bezpečnosti volím hřídel  $d_I = 32\text{mm}$ .



Obr.č.35 – Průběh zatížení na hřídeli

Výpočet zatěžující síly:

$$F_1 = \frac{Mk}{\frac{d}{2}} = \frac{14,48}{\frac{0,032}{2}} = 905N \quad (4.43)$$

Výpočet reakcí:

$$\sum M_{ob} = -F \cdot 138 + R_a \cdot 68$$

$$R_a = \frac{F \cdot 138}{68} = \frac{905 \cdot 138}{68} = 1836,6N \quad (4.44)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$RA + RB - F_1 = 0$$

$$RA = F_1 - RB = 905 - 1836,6 = 931,6N$$

Maximální ohybový moment se nachází v místě působení síly  $F_1$ :

$$Mo_{MAX} = ?$$

$$Mo_{MAX} = RB \cdot 138 = 931,6 \cdot 138 = 128560,8N \cdot m \quad (4.45)$$

Redukovaný moment:

$$M_{RED} = ?$$

$$M_{RED} = \sqrt{Mo_{MAX}^2 + 0,75 \cdot Mk^2} \quad (4.46)$$

$$M_{RED} = \sqrt{128560,8^2 + 0,75 \cdot 14480^2}$$

$$M_{RED} = 129226N \cdot m$$

Kontrola namáhání:

$$\sigma = \frac{M_{RED}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \leq \sigma_D \quad (4.47)$$

$$\sigma = \frac{129226}{\frac{\pi \cdot 0,032^3}{32}} = 40,2 \leq 90Mpa$$

$\sigma$  ... napětí v ohybu

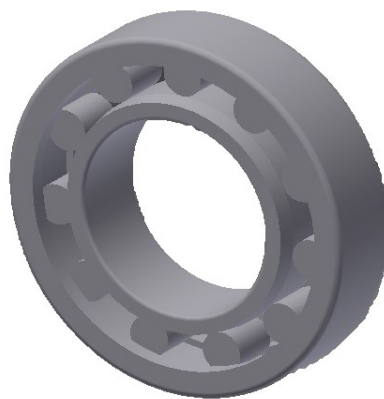
$\sigma_D$  ... dovolené napětí v ohybu

## 4.5. Výpočet ložiska

Ložiska jsou namáhány reakčními silami  $RA$  a  $RB$ . Pro svůj návrh jsem si zvolil dvě válečkové ložisko ČSN 024670 Nu 1006. Tyto ložiska jsem zvolil, protože mají vysokou tuhost a jsou proto vhodná pro proměnlivá a rázová zatížení. Ložiska jsou zatížena po celou dobu své životnosti konstantním provozním zatížením  $P$ . [6]

Tab.č.9 – Parametry válečkového ložiska

Vnější $\varnothing$ ložiska $D_1$ [mm]	Vnitřní $\varnothing$ ložiska $d_1$ [mm]	Šířka ložiska $B$ [mm]	Dynamická únosnost - $C$ [kN]	Statická únosnost - $C_0$ [kN]
55	30	13	17,9	17,3



Obr.č.37 – Válečkové ložisko

Ze strojnických tabulek jsem určil součinitele X a Y:

X=1,Y=0

Stanovení dynamického zatížení ložiska:

$$Fr = Rb = Ra$$

$$P = X \cdot Fr = 1 \cdot 1836,6 = 1836,6N \quad (4.51)$$

Výpočet základní trvanlivosti ložiska:

$$L_{10}h = \left( \frac{C}{P} \right)^a \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left( \frac{17900}{1836,6} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1420} = 23210 \text{ hodin} \quad (4.52)$$

Výpočet modifikované trvanlivosti:

$$L_{10}m = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{10}h = 1 \cdot 0,96 \cdot 23210 = 22281 \text{ hodin} \quad (4.53)$$

a=10/3 - exponent (ložiska s čárovým stykem)

$a_1$ =1- součinitel spolehlivosti

$a_{23}$ =0,96- součinitel spolehlivosti zahrnující materiálu, mazání, provozní podmínky



## 5. Závěr

V úvodu práce bylo popsáno, k čemu drtiče slouží a v jakých průmyslových odvětvích se používají. Práce také obsahuje jednoduché rozdělení drtících mechanismů a několik příkladů sortimentu dostupných u nás i v zahraničí.

Součástí práce je také testování tvrdosti kostí. Cílem testování bylo určit, jakou sílu musím vyvinout k rozdrčení popř. rozlomení syrové a vařené kosti. Testováním jsem zjistil, že na syrové kosti musíme působit průměrnou silou 644 N a na kosti vařené silou 522 N, abychom kosti rozlomili, případně rozdrtili. Podle výsledků jsem navrhl drtící mechanismus domácího drtiče kostí.

V další části jsem dle zadání navrhl drtič na kosti, vhodný k výrobě krmné směsi pro domácí použití. Drtič umožňuje rozdrobení kostí o definované velikosti vstupního otvoru 60x60 mm. Dále jsem navrhl několik pohonů drtiče, z nichž byl jako ten nejvhodnější zvolen pohon pomocí elektromotoru s jednoduchým řemenovým převodem. Jako drtící mechanismus jsem zvolil střížný mlýn, jehož hlavní částí je rotor s třemi břity vyrobenými z nástrojové oceli 19 422. Konstrukci skříně jsem provedl dvoudílnou z důvodu snadné údržby a čištění drtící komory. Z hlediska bezpečnosti je drtič vybaven zakrytváním a tlačítkem nouzového zastavení tak, aby při havárii stroje nedošlo ke zranění obsluhy.

V poslední kapitole mé práce jsem provedl kontrolní výpočty. Jedná se o výpočet střížné síly, volbu a výpočet řemenového převodu, výpočet hřídele a ložisek. V příloze bakalářské práce jsem doložil výkresovou dokumentaci, která obsahuje výkres navrženého drtiče a část výrobních výkresů.

Podařilo se mi navrhnout zařízení, které lze jednoduše obsluhovat. Mnou navržený drtič není vhodný pro použití v průmyslových odvětvích, ale je především vhodný pro domácí využití při zpracování kostí jako doplňku stravy pro domácí zvířata.

## **Seznam použitých zdrojů a literatury**

- [1] HLOCH, K.: *Bakalářská práce: Srovnání různých druhů šrotovníků*. Mendelova univerzita v Brně. Agronomická fakulta-Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, 2010, 54s.
- [2] KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [3] KALAB, K.: *Vysokoškolská příručka: Návrh, výpočet a montáž řemenového převodu*. VŠB-TU Ostrava, 2010, 20s.
- [4] KALAB, K.: *Vysokoškolská příručka: Návrh a výpočet spojů pro přenos kroutícího momentu z hřídele na náboj*. VŠB-TU Ostrava, 2011, 31s.
- [5] KEJÍK, C – FRYČ, J KEJÍK, C. *Technika pro živočišnou výrobu – I. díl*. 1. vyd. Brno:Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998. 156 s. ISBN 80-7157-331-0.
- [6] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 1. vydání. Úvaly: Albra – pedagogické nakladatelství, 2003, ISBN 80-86490-74-2
- [7] *Garten drtiče zahradního odpadu*. [online]. 2001 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: [Http://www.garten.cz/a/cz/3142-drtice-zahradniho-odpadu-2](http://www.garten.cz/a/cz/3142-drtice-zahradniho-odpadu-2)
- [8] *Drtiče Monts s.r.o.* [online]. 2005 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.monts.cz/cs/drceni.html>
- [9] *Drtiče odpadu ODES s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.odes.cz/dvouhridelove-drtice-odpadu/>
- [10] *Retsch – Verden s.r.o.* [online]. 2006 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.retschi.cz/cz/produkty/mleti/>
- [11] *Šrotovníky Taurus s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.taurus-sro.cz /krmivarny-a-mlyny/srotovniky-mleti.html>

## **Seznam obrázků**

Obr.č.1 – Kladívkový šrotovník

Obr.č.2 – Schéma kladívkového šrotovníku

Obr.č.3 – Různé typy kladívek

Obr.č.4 – Trojboký a šestidiskový rotor  
Obr.č.5 – Pákový drtič  
Obr.č.6 – Princip drtiče s frézovacím válcem  
Obr.č.7 – Princip mechanismu čelistového drtiče  
Obr.č.8 – Jemný drtič od firmy Monts s.r.o  
Obr.č.9 – Vertikální mlýn VM 4  
Obr.č.10 – Čelistový drtič BB 200  
Obr.č.11 – Střížný mlýn SM 300  
Obr.č.12 – Testovací prostředí  
Obr.č.13 – Fotky syrových kostí  
Obr.č.14 – Foto vařené kosti [  
Obr.č.15 – Zátěžový graf syrové kosti  
Obr.č.16 – Zátěžový graf vařené kosti  
Obr.č.17 – Obrázky drcených kostí Velikost kostí ke zpracování  
Obr.č.18 – Velikost kostí ke zpracování  
Obr.č.19 – Domácí drtič kostí  
Obr.č.20 – Schéma pohonu přímého  
Obr.č.21 – Schéma přímého pohonu s pojistnou spojkou  
Obr.č.22 – Schéma jednoduchého řemenového převodu  
Obr.č.23 – Jednoduchý řemenový pohon  
Obr.č.24 – Drtící mechanismus  
Obr.č.25 – Napínací deska pod motor  
Obr.č.26 – Polohovatelná skříň drtícího mechanismu  
Obr.č.27 – Nástrčný hřídel uvnitř drtící komory  
Obr.č.28 – Bezpečnostní prvky  
Obr.č.29 – Zakrytování drtiče  
Obr.č.30 – Rám drtiče  
Obr.č.31 – Schéma klínového převodu  
Obr.č.32 – Výpočet délky řemene  
Obr.č.33 – Schéma napínání řemene  
Obr.č.34 – Spojení pomocí těsného pera  
Obr.č.35 – Průběh zatížení na hřídeli  
Obr.č.36 – Hřídel Rotoru  
Obr.č.37 – Válečkové ložisko

## **Seznam tabulek**

Tab.č.1 –Technické parametry vertikálního mlýnu VM4

Tab.č.2 –Technické parametry čelistového drtiče BB200

Tab.č.3 –Technické parametry Střížného mlýnu SM 300

Tab.č.4 –Naměřené hodnoty testovaných kostí

Tab.č.5 –Tabulka tvrdostí kostí

Tab.č.6 – Technické parametry drtiče Retsch Sm100

Tab.č.7 – Technické parametry elektromotoru Siemens 1LE1 002-1AB42

Tab.č.8 – Normalizované velikosti průměrů řemenic

Tab.č.9 – Parametry válečkového ložiska

Tab.č.10 – Součinitele dynamičnosti zatížení a pracovního režimu

## **Seznam příloh**

<b>Název</b>	<b>Číslo výkresu</b>	<b>Formát</b>
Drtič kostí	POL0033-01	A1
Kusovník 1	POL0033-02	A4
Kusovník 2	POL0033-03	A4
Kusovník 3	POL0033-04	A4
Skříň 1	POL0033-06	A3
Skříň 2	POL0033-07	A3
Řemenice	POL0033-20	A4
Hřidel	POL0033-22	A3

**Příloha A - Tab.č.10 – Součinitele dynamičnosti zatížení a pracovního režimu**

Pracovní režim	Typy strojů	Charakter zatížení	Střídavý elektrický motor pro průmyslové použití; stejnosměrný elektrický motor derivační turbíny			Stejnosměrný elektrický motor kompaundní; spalovací motor s frekvencí otáček nad 600 min <sup>-1</sup>			Střídavý elektrický motor se zvýšeným zátěžným momentem; stejnosměrný elektrický motor se sériovým buzením; spalovací motor do 600 min <sup>-1</sup>		
			Počet pracovních směn řemenů								
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Lehký	Soustruhy, vrtačky, brusky, lehké ventilátory; čerpadla a kompresory odstředivé a rotační, pásové dopravníky, fukary, separátory, lehké prohazovačky, stroje na čištění a nakládání obilí aj.	Lehký. Maximální krátkodobé zatížení do 120 % od jmenovitého	1,0	1,1	1,4	1,1	1,2	1,5	1,2	1,4	1,6
Střední	Frézky, frézky na ozubení, revolverové vrtačky, polygrafické stroje; elektrické generátory; pístová čerpadla a kompresory se třemi a více válci; ventilátory a dmýchadla; řetězové dopravníky, elevátory, okružní pily na dřevo; transmise; doprídací, papírenské a potravinářské stroje; těžké prohazovačky; otočné pece, rychloběžné brusky aj.	Mírné výkyvy zatížení. Maximální krátkodobé zatížení do 150 % od jmenovitého	1,1	1,2	1,5	1,2	1,4	1,6	1,3	1,5	1,7
Těžký	Hoblovky, svislé obrážky a dřevozpracující stroje; čerpadla a kompresory pístové s jedním anebo dvěma válci; ventilátory a dmýchadla těžkého typu, šroubové a hřeblové dopravníky; drtiče; šnekové lisy excentrické s relativně těžkým setrvačníkem; tkací stroje; stroje na čištění bavlny; stroje na lisování a briketování krmiv aj.	Značné výkyvy zatížení. Maximální krátkodobé zatížení do 200 % od jmenovitého	1,2	1,3	1,6	1,3	1,5	1,7	1,4	1,6	1,9
Velmi těžký	Zvedače, exkavátory, plovoucí rýpadla; lisy; nůžky, buchary, kolové mlýny, hnětačí stroje na hlínu; kulové, kamenové (šrotovníky) a kladkové mlýny; drtiče, rámové pily aj.	Nárazové a silně nerovnoměrné zatížení. Maximální krátkodobé zatížení do 300 % od jmenovitého	1,3	1,5	1,7	1,4	1,6	1,8	1,5	1,7	2,0

**Příloha B – schéma pro výpočet skutečné síly na kost**

